

Tên đề tài: Nghiên cứu ứng dụng phương pháp mô phỏng toán học và phân tích rủi ro trong thiết kế luồng tàu biển
 Chủ trì đề tài: TS. Nguyễn Minh Quý
 Đồng chủ nhiệm: KS. Ngô Quang Đình

(1) Tại sao phải nghiên cứu

Mặc dầu đã có nhiều cố gắng để ngăn ngừa và giảm thiểu tai nạn hàng hải, nhưng số lượng các vụ tai nạn về hàng hải trên thế giới tiếp tục gia tăng và dự báo sẽ vẫn chưa giảm trong những năm sắp tới. Phần lớn những vụ tai nạn hàng hải được ghi nhận xảy ra khi đang hoạt động trên các luồng dẫn hoặc cửa luồng nơi tiếp giáp với vùng biển hở. Khu vực này thường diễn biến phức tạp do luồng dẫn thường không được che chắn, chịu tác động trực tiếp bởi sóng, gió và dòng chảy, khu nước nông, mật độ tàu bè qua lại cao; và nhiều công trình dọc 2 bên luồng dẫn. Tất cả các yếu tố trên, liên quan trực tiếp đến yêu cầu thiết kế độ sâu chạy tàu, thường đồng thời gây ra những rủi ro cho mỗi chuyến tàu. Với nhu cầu ngày càng đòi hỏi cao hơn về an toàn và kinh tế trong các hoạt động hàng hải, việc nghiên cứu dự báo trước mức độ rủi ro cho mỗi chuyến tàu ra vào cảng là một đề tài đang thu hút được sự quan tâm của các nhà khai thác cảng và các chuyên gia về hàng hải.

(2) Phạm vi áp dụng

Về khai thác: thiết lập qui trình khai thác cảng và luồng tàu mà nhờ đó các hoa tiêu và cảng vụ có thể đưa và đón tàu ra vào cảng với mức độ an toàn theo yêu cầu đặt ra.

Về thiết kế: tối ưu hóa độ sâu chạy tàu, nói cách khác là giảm thiểu chi phí nạo vét luồng, trên cơ sở qui trình khai thác cảng được thiết lập với mức độ rủi ro cho phép nào đó.

(3) Những ưu điểm nổi bật của phương pháp mô phỏng và rủi ro

Những ưu điểm của phương pháp này so với phương pháp truyền thống được liệt kê trong bảng sau:

Bảng 1: So sánh phương pháp mới với phương pháp truyền thống

Chỉ tiêu so sánh	Mô hình mô phỏng rủi ro	Phương pháp truyền thống
Có xác định khả năng thông qua của luồng không?	Có	Có
Có xác định được các kích thước cơ bản của luồng không?	Có	Có
Mức độ an toàn hay rủi ro của luồng tàu có được xác định không?	Có	Không
Tối ưu hóa độ sâu chạy tàu cho mỗi chuyến tàu (khai thác) và cho cả thời gian khai thác luồng tàu (thiết kế)?	Có	Không
Cảnh báo rủi ro trước khi tàu đến/đi	Có	Không

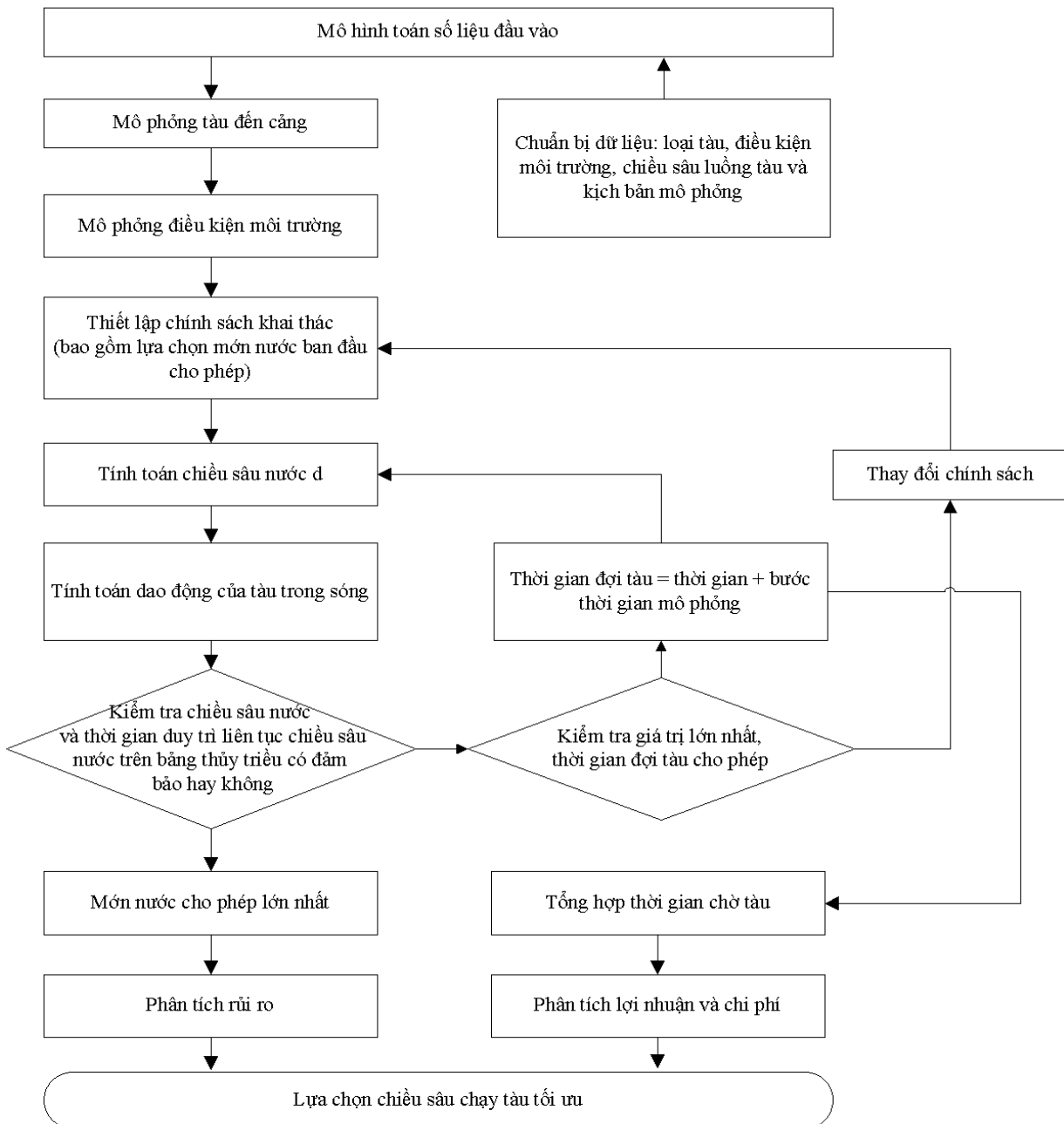
(4) Mô hình hoạt động như thế nào

Các kỹ thuật tối ưu hóa bằng phương pháp mô phỏng được sử dụng phổ biến trong nhiều lĩnh vực khác nhau bao gồm: qui hoạch đô thị, phân tích kinh tế và giao thông vận tải. Trong lĩnh vực nghiên cứu đường thủy, mô hình mô phỏng vĩ mô (macro-simulation model) chủ yếu được sử dụng trong phân tích và nghiên cứu khai thác và vận hành cảng.

Phần lớn các mô hình mô phỏng về qui hoạch và khai thác cảng hiện tại chú trọng về nghiên cứu chính sách khai thác luồng tàu, và ít quan tâm đến vấn đề an toàn của mỗi hành trình tàu trong quá trình khai thác.

Có thể nói rằng, rủi ro của mỗi hành trình chạy tàu thường được xác định độc lập hoặc bằng các mô hình rủi ro hoặc dựa trên mô hình số về dao động của tàu. Sự kết hợp giữa hai phương pháp này trong nghiên cứu qui hoạch và khai thác luồng tàu là bước tiến lớn trong việc phát triển và hoàn thiện các mô hình mô phỏng hiện nay.

Mô hình mô phỏng rủi ro và tối ưu hóa độ sâu chạy tàu thể hiện trong hình dưới đây được thiết lập theo hướng nghiên cứu nói trên:



Hình 1: Sơ đồ dòng chảy tối ưu hóa độ sâu chạy tàu

Đây là mô hình mô phỏng “discrete-event and compressed-time-stepping traffic” cho luồng tàu hở chịu tác động trực tiếp của sóng biển. Nội dung cốt lõi trong mô hình này là xác định xác suất va chạm của đáy tàu dưới tác động của sóng biển có kể đến biến động của thủy triều trong hành trình chạy tàu. Điều này đòi hỏi phải xác định chính xác và tin cậy hàm dao động của tàu dưới tác động của sóng và độ dãn của tàu trong quá trình vận hành.

Mô hình gồm có 4 modul chính: (1) hàm phân bố xác suất “exponential” sử dụng mô phỏng tàu đến và rời cảng; (2) mô hình tham số xác định dao động của tàu trong sóng; (3) mô hình xác định mực nước chạy tàu có kể đến biến động của thủy triều; và (4) mô hình xác suất xác định khả năng mắc cạn của tàu trong mỗi hành trình chạy tàu.

Kết quả của mô hình mô phỏng bao gồm:

- Thời gian chờ của mỗi chuyến tàu và tổng thời gian chờ tàu cho cả quá trình mô phỏng (Ship waiting time for each transit and the total waiting time for the period of simulation);
- Số lượt tàu phải chờ tại bến chuyển tải và tổng lượng hàng phải chờ tại bến chuyển tải (khi mực nước trước bến không đủ để chất đầy tải);
- Hệ số sử dụng luồng, tỷ số giữa thời gian chiếm luồng của tàu và thời gian mô phỏng.

(5) Ví dụ tính toán cho luồng tàu vào cảng Cẩm Phả

(5.1) Kịch bản tính toán

Mô phỏng được thực hiện với 5 trường hợp độ sâu đáy luồng khác nhau và 3 sự lựa chọn cho vận tốc chạy tàu. Bài toán cũng được khảo sát cho số lượt tàu đến cảng thay đổi từ 10 đến 50 chuyến/năm. Như vậy, tổng số kịch bản phải khảo sát là 75 kịch bản. Các số liệu đầu vào chi tiết được thể hiện trong bảng sau.

Bảng 2: Số liệu đầu vào của các kịch bản tính toán

Mục	Đơn vị	Giá trị	Ghi chú
Thời gian mô phỏng	Giờ	360 x 24	
Tàu mô phỏng			
- Số lượt tàu đến cảng	Lượt	10, 20, 30, 40 và 50	5 trường hợp
- Hàm phân bố tàu đến	-	Exponential	
- Các thông số tàu	-		Xem bảng dưới
- Vận tốc tàu chạy	hải lý/ giờ	5, 7.5 và 10	3 trường hợp
Luồng tàu			
- Chiều dài luồng	m	12,000	Đoạn luồng Đông
- Chiều sâu	m	-10, -11, -12, -13, -14	Trắng
Chi phí			Chi phí gia tăng là phần chênh giữa chi phí rớt than tại cảng và tại phao nổi
- Chi phí đợi tàu	USD/hour	35	
- Chi phí nạo vét	USD/m ³	4.0	
- Chi phí gia tăng	USD/tấn	20	

(5.2) Sóng tính toán

Sóng tính toán được thu thập từ trung tâm khí tượng thủy văn biển và được thể hiện trong bảng sau:

Bảng 3: Tần suất chiều cao sóng đối với chu kỳ trung bình của sóng ứng với các hướng

Chiều cao sóng (m)	Chu kỳ sóng, Tz								Total
	0.00 4.99	5.00 5.99	6.00 6.99	7.00 7.99	8.00 8.99	9.00 9.99	10.00 10.99	≥11	
0.00- 0.49	12.25	13.26	8.95	6.58	1.44	0.48			42.96
0.50- 0.99	5.32	7.54	6.56	3.65	1.35	1.05			25.47
1.00- 1.49	0.85	3.21	4.50	3.89	1.63	1.15	0.04		15.27
1.50- 1.99	0.35	1.86	3.21	2.53	1.06	0.82	0.01	0.00	9.84
2.00- 2.49	0.02	0.76	1.65	1.27	0.42	0.06	0.01	0.00	4.19
2.50- 2.99	0.00	0.35	0.62	0.85	0.30	0.11	0.02	0.01	2.26
3.00- 3.49	0.00	0.01	0.04	0.11	0.12	0.06	0.02	0.01	0.37
≥ 3.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
Total	18.79	26.99	25.53	18.88	6.33	3.73	0.10	0.02	100

Bảng 4: Tần suất của chiều cao sóng với các hướng sóng và góc tác động tương đối so với hướng tàu ra

Chiều cao sóng (m)	Hướng sóng (góc tác động lên hướng tàu ra)							Others	Total
	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W		
	108	130.5	153	175.5	198	220.5	243		
0.00- 0.49	2.18	3.20	6.38	10.88	7.02	3.89	2.35	7.06	42.96
0.50- 0.99	0.98	1.86	3.88	6.72	4.73	1.78	1.20	4.32	25.47
1.00- 1.49	0.52	1.31	2.75	3.80	3.36	1.03	0.15	2.35	15.27
1.50- 1.99	0.21	0.47	1.86	2.85	2.19	0.89	0.12	1.25	9.84
2.00- 2.49	0.06	0.15	0.75	1.20	0.65	0.45	0.08	0.85	4.19
2.50- 2.99	0.00	0.03	0.21	0.75	0.52	0.32	0.08	0.35	2.26
3.00- 3.49	0.00	0.00	0.02	0.05	0.04	0.03	0.03	0.20	0.37
≥ 3.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
Total	3.89	6.84	15.85	26.25	18.51	8.39	4.01	16.39	100

(5.3) Mô hình tàu đi/đến cảng

Giả thiết tàu đi/đến cảng theo qui luật phân bố mũ dưới dạng biểu thức sau:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (1)$$

Trong đó: F hàm phân bố xác suất thời gian tàu đến cảng; λ là tần suất tàu đi/đến.

Với một giá trị l nào đó, thời gian tàu đến cảng t được mô phỏng như sau:

$$\begin{aligned} i &= \text{RANDOM}(1, n) \\ t_i &= -\log(i)/\lambda \end{aligned} \quad (2)$$

Trong đó: “RANDOM” là hàm ngẫu nhiên; n tổng số tàu tính toán; t_i thời gian đến cảng của tàu thứ i .

(5.4) Phổ sóng tính toán

Trên cơ sở số liệu sóng tính toán liệt kê trong Bảng 3 và 4 hàm phổ sóng sẽ được xác định và sử dụng trong tính toán dao động của tàu. Trong tính toán này, phổ cải biên Pierson-Moskowitz đã được sử dụng và biểu diễn như sau:

$$S_{\eta}(\omega) = \frac{124H_s^2}{T_z^4\omega^5} \exp[-497(\omega T_z)^{-4}] \quad (3)$$

Trong đó: S_{η} là phổ sóng tính toán; H_s là chiều cao sóng có nghĩa; T_z chu kỳ dao động của sóng; ω là tần số sóng.

(5.5) Phổ dao động của tàu

Phổ dao động của tàu được xác định dựa trên phổ sóng tính toán qua biểu thức sau đây:

$$S_r(\omega_e) = |H(\omega_e)|^2 S_{\eta}(\omega_e) \quad (4)$$

Trong đó: S_r là phổ dao động của tàu, H là hàm chuyển tiếp được xác định thông qua các phần mềm chuyên dụng dựa trên các thông số kỹ thuật của tàu. ω_e là tần số sóng có kể đến vận tốc tàu chạy.

(5.6) Hàm xác suất tàu gặp nạn

Hàm xác suất Poisson được sử dụng nhiều hơn cả trong việc tính toán khả năng gặp nạn của tàu. Hàm Poisson có thể viết cho một dao động ngẫu nhiên của tàu chạy trên luồng theo thời gian như sau:

$$P(\beta, T_h) = 1 - \exp(-\nu_{\beta} T_h) \quad (5)$$

Trong đó: $P()$ là xác suất của tàu va chạm vào đáy luồng một lần trong khoảng thời gian T_h (giờ); β là khoảng cách từ sóng tàu đến đáy luồng; ν_{β} là hệ số được xác định như sau:

$$\nu_{\beta} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{m_{2z}}{m_{0z}}} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{\beta^2}{m_{0z}}\right) \quad (6)$$

Trong đó m_{0z} và m_{2z} lần lượt là mô men trung tâm và mô men bậc hai của dao động của tàu trong sóng được xác định như sau:

$$m_{0z} = \int_0^{\infty} S_r(\omega_e) d\omega_e \quad (7)$$

$$m_{2z} = \int_0^{\infty} \omega_e^2 S_r(\omega_e) d\omega_e$$

Thông thường trong thiết kế và khai thác luồng tàu, người ta thường quan tâm với độ dự trữ dưới sóng tàu là bao nhiêu để xác suất va chạm của tàu với đáy luồng nhỏ hơn một giá trị nào đó. Do vậy, đặt:

$$P(b, T_h) = \alpha \quad (8)$$

Từ phương trình 5, 6 và 8 ta có:

$$\beta = \sqrt{m_{0z}} \sqrt{-2 \ln \left\{ -\frac{\ln(1-\alpha)}{\frac{T_h^2}{h} \sqrt{\frac{m_{2z}}{2\pi m_{0z}}}} \right\}} \quad (9)$$

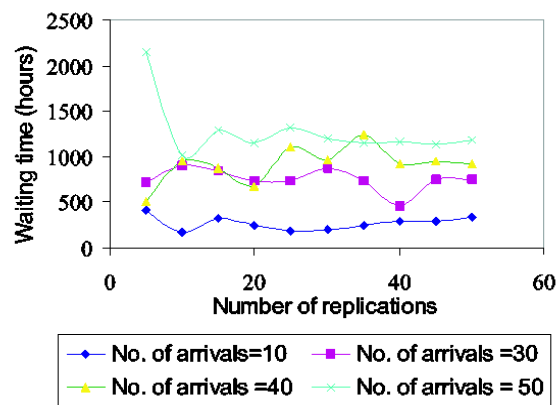
Từ biểu thức (9) ta thấy, ứng với mỗi giá trị xác suất rủi ro α có thể chấp nhận được, ta sẽ xác định được độ cao an toàn tương ứng của khoảng dự trữ dưới sóng tàu β . Từ đó ta có thể xác định được mức nước lớn nhất của tàu ứng với độ sâu chạy tàu xác định.

(5.7) Hệ số an toàn

Hệ số an toàn (hay nói cách khác là mức độ rủi ro có thể chấp nhận được) là một trong những điều kiện quan trọng trong thiết kế và khai thác luồng tàu. Hệ số này được xác định cho mỗi hành trình chạy tàu phải thỏa mãn điều kiện là xác suất tai nạn (mắc cạn) phải nằm trong giới hạn cho phép. Theo đề xuất của PIANC, hệ số này là 3×10^{-5} , nghĩa là không được quá 3 tai nạn trong 100,000 lượt tàu chạy.

(5.8) Số lần mô phỏng tối thiểu

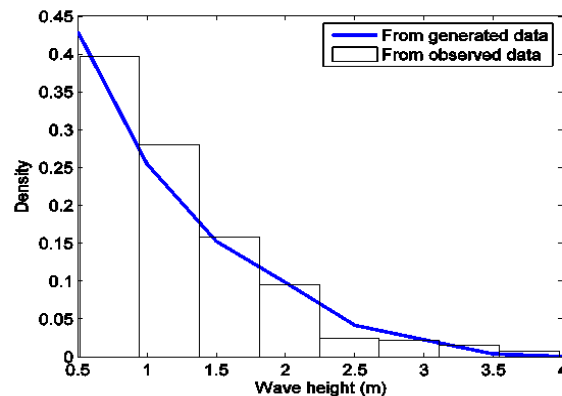
Mức độ hội tụ của kết quả mô phỏng phụ thuộc vào số lần mô phỏng cho mỗi kịch bản. Nghĩa là, số lần mô phỏng càng lớn, độ hội tụ của kết quả tính toán càng cao, hay nói cách khác các thông tin mà mô hình đem lại càng chính xác.



Hình 2a: Tương quan giữa số lần mô phỏng và giá trị trung bình của thời gian đợi tàu

Hình 2a thể hiện mối quan hệ giữa thời gian đợi tàu với số lần mô phỏng. Có thể nhận thấy rằng với số lần mô phỏng thấp, kết quả mô phỏng tương đối phân tán. Và kết quả mô phỏng tương đối hội tụ sau 50 lần chạy.

(5.9) Kiểm chứng mô hình

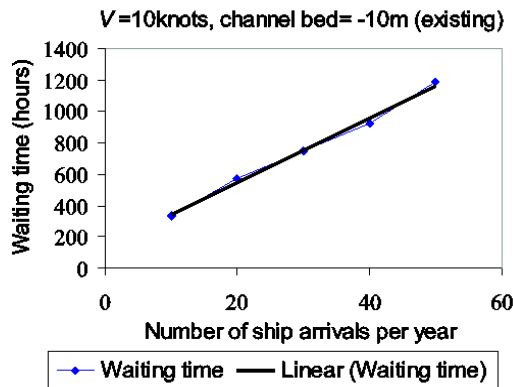


Hình 2b: So sánh phân bố chiều cao giữa sóng mô phỏng và sóng thực đo

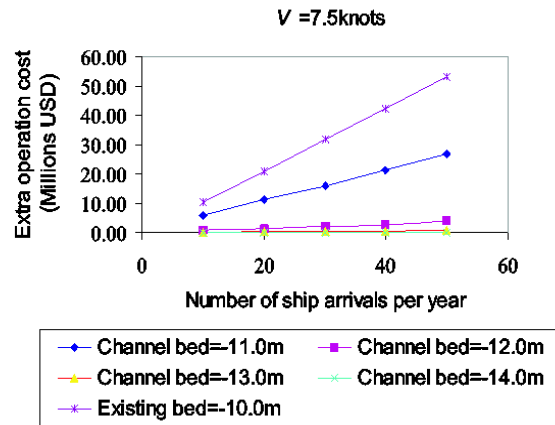
Hình 2b thể hiện 1 ví dụ so sánh giữa số liệu thống kê sóng được phát sinh từ mô hình toán và sóng từ số liệu thu thập. Kết quả cho thấy đường mật độ chiều cao sóng thu được từ mô hình toán tương đối tiệm cận với số liệu sóng thu thập.

(5.10) Kết quả mô phỏng

Kết quả mô phỏng trên hình 3 cho thấy thời gian đợi tàu biến đổi tương đối tuyến tính và tăng theo số lượt tàu đến cảng. Kết quả này giúp ta có thể giảm thời gian mô phỏng trong trường hợp cần khảo sát biến thiên của thời gian đợi tàu khi mà số lượt tàu gia tăng.

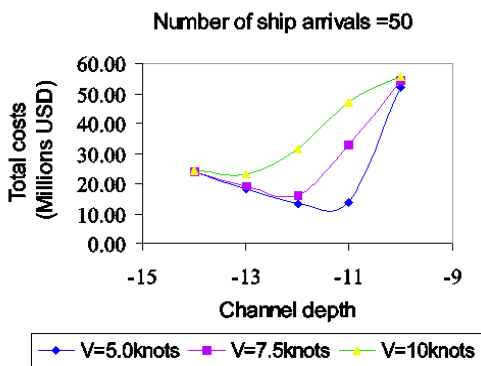


Hình 3: Quan hệ giữa thời gian đợi tàu và số lượt tàu đến cảng (trường hợp hiện trạng)

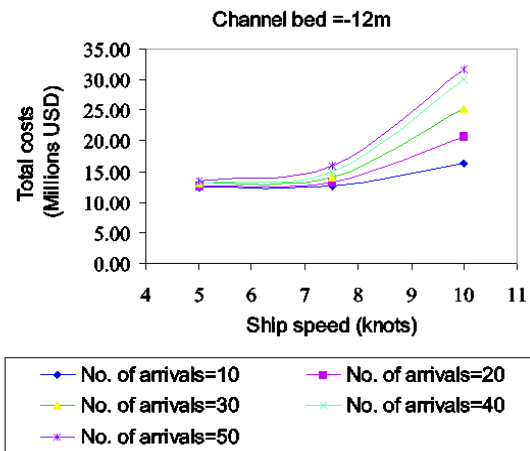


Hình 4: Quan hệ giữa chi phí khai thác gia tăng và số lượt tàu đến cảng cho các độ sâu luồng khác nhau

Hình 4 thể hiện mối quan hệ giữa chi phí khai thác gia tăng (tổng chi phí đợi tàu và chi phí bốc xếp tại bến chuyên tải) và số lượt tàu đến cảng cho các cao trình đáy chạy tàu khác nhau. Có thể nhận thấy rằng chi phí khai thác gia tăng tăng rất nhanh theo độ giảm của độ sâu chạy tàu. Đường như chi phí này giảm về 0 khi mà độ sâu chạy tàu sâu hơn -12 m.



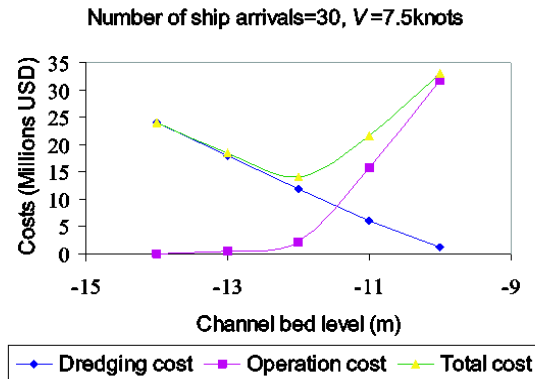
Hình 5: Quan hệ giữa tổng chi phí khai thác và nạo vét (Ct) với chiều sâu luồng cho các vận tốc tàu chạy khác nhau



Hình 6: Quan hệ giữa vận tốc chạy tàu và Ct

Quan hệ giữa tổng chi phí (nạo vét ban đầu và chi phí khai thác gia tăng) và độ sâu luồng cho các vận tốc chạy tàu khác nhau được thể hiện trên hình 5. Một điều rất thú vị là với mỗi vận tốc chạy tàu khác nhau, tương ứng có một độ sâu luồng tối ưu (tại đó tổng chi phí là nhỏ nhất).

Trên hình 6 cho thấy, tổng chi phí biến đổi không nhiều m khi mà vận tốc chạy tàu nhỏ hơn 7.5 hải lý/giờ cho trường hợp độ sâu luồng là -12m. Khi mà vận tốc chạy tàu tăng lên, tổng chi phí tăng lên đáng kể. Có thể sơ bộ kết luận rằng vận tốc chạy tàu 7.5 hải lý/ giờ là vận tốc chạy tàu hợp lý.



Hình 7: Xác định cao độ chạy tàu tối ưu

Qua hình 7 cho thấy độ sâu luồng chạy tàu tối ưu (tại đó tổng chi phí là nhỏ nhất) được xác định là -12m ứng với vận tốc chạy tàu hợp lý là 7.5 hải lý/ giờ.

(6) Thay cho lời kết

Thiết kế chi tiết luồng tàu theo phương pháp mô hình mô phỏng đã được sử dụng rộng rãi trên thế giới như là một điều kiện bắt buộc theo kiến nghị trong nhiều hướng dẫn và qui trình thiết kế của nhiều nước. Việt Nam đang trên con đường phát triển về khoa học công nghệ để hội nhập với thế giới. Do vậy, việc đầu tư nghiên cứu và ứng dụng công nghệ mô phỏng trong thiết kế luồng tàu là việc khó tránh khỏi.

Để có thể chủ động ứng dụng được công nghệ này trong tương lai gần, cần phải từng bước nghiên cứu các vấn đề sau đây:

Vấn đề nghiên cứu	Mục đích	Nguồn
Lý thuyết xác suất và độ tin cậy	Mô hình hóa điều kiện tự nhiên	Tài liệu
Mô hình dao động tàu trong sóng	Sử dụng trong mô phỏng nhanh	Mua phần mềm
Lý thuyết về các loại phổ sóng	Xác định loại phổ sóng trong tt	Tài liệu
Mô hình mô phỏng nhanh	Thiết kế và qui hoạch luồng	Mua phần mềm
Mô hình mô phỏng thực	Như trên	Mua phần cứng

(7) Tài liệu tham khảo

- PIANC. (1992). Capacity of ship maneuvering simulation models for approach channels and fairways in harbors (Tech. Rep.). Brussels, Belgium: Supplement to Bulletin No.77.
- PIANC. (1997). Approach channels - a guide for design (Tech. Rep.). Brussels, Belgium: Final report of the joint PIANC-IAPH.
- Quy, N. M., Vrijling, J. K., & Gelder, P. (2008). Risk- and simulation-based optimization of channel depths: Entrance channel of Cam Pha Coal Port. *SIMULATION*, 84(1), 41-55.
- Quy, N. M., Vrijling, J. K., Gelder, P., & Groenvelde, R. (2007). Long-term prediction of navigational risk for maritime engineering design using simulation. In *Asian and Pacific Coast Conference* (p. 1605-1611). Nanjing, China: Ocean Press.
- Quy, N. M., Vrijling, J. K., Gelder, P., & Groenvelde, R. (2007). Parametric modeling of ship motion responses for risk-based optimization of entrance channel depths. In *11th World Conference on Transport Research* (p. ID-212). University of California, Berkeley, USA.
- Quy, N. M. (2001). *Feasibility study project of expansion of Cam Pha Coal Port* (Tech. Rep.). Vietnamese Coal Incorporation, in Vietnamese.